

⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑪ DE 3629409 A1

⑳ Aktenzeichen: P 36 29 409.8
㉑ Anmeldetag: 29. 8. 86
㉒ Offenlegungstag: 3. 3. 88

⑤ Int. Cl. 4:
H04N 1/40
H 04 N 1/38
// H04N 1/46,
G03F 3/08

Behördenaigentum

DE 3629409 A1

㉑ Anmelder:
Agfa-Gevaert AG, 5090 Leverkusen, DE

㉒ Erfinder:
Fuchsberger, Hermann, Dipl.-Ing., 8045 Ismaning,
DE; Wagensonner, Eduard, Dipl.-Ing. (FH), 8011
Aschheim, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE-OS 35 22 707
DE-OS 35 06 736
DE-OS 35 02 174
EP 01 88 098
EP 01 13 016
US-Z: Electronics, 8.9.1983, S.77-78;

⑤④ Verfahren zur Kontrastbewertung bei der elektronischen Bildverarbeitung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur elektronischen Kontrastbewertung von zweidimensionalen, transparenten Bildvorlagen, bei dem die Bildvorlage nach Zeilen und Spalten elektrooptisch abgetastet wird. Die den Bildelementen entsprechenden, gegebenenfalls zu korrigierenden Bildsignale werden einer Frequenzfilterung unterzogen, bei der sie durch einen Tiefpaß modifiziert werden. Zu diesen Tiefpaßsignalen werden die entsprechenden, aus Tiefpaßsignalen und originalen Bildsignalen durch Subtraktion gewonnenen Hochpaßsignale addiert. Der Verstärkungsfaktor für das Hochpaßsignal wird entsprechend einer nicht linearen Übertragungskennlinie K2 in der Weise vorgegeben, daß kleine, geringen Bildkontrasten entsprechende Signale höher verstärkt werden (Steigung S₁) als große, starken Bildkontrasten entsprechende Signale (Steigung S₂) und daß die Tiefpaßsignale vor der Addition von Hochpaß- und Tiefpaßsignalen, bezogen auf den Aussteuerbereich, entsprechend einer nicht linearen Gradationskennlinie K1 modifiziert werden.

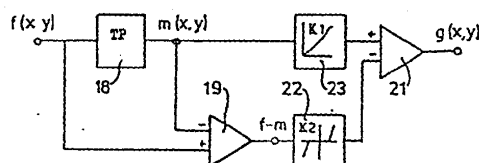


FIG. 4

DE 3629409 A1

SdT zu MU 02016-US

1. Verfahren zur elektronischen Kontrastbewertung von zweidimensionalen, transparenten Bildvorlagen, bei dem die Bildvorlage nach Zeilen und Spalten elektrooptisch abgetastet wird, und die den Bildelementen entsprechenden, gegebenenfalls zu korrigierenden Bildsignale einer Frequenzfilterung unterzogen werden, bei der sie durch einen Tiefpaß modifiziert werden und zu diesen Tiefpaßsignalen die entsprechenden aus Tiefpaßsignalen und originalen Bildsignalen durch Subtraktion gewonnenen Hochpaßsignale addiert werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Verstärkungsfaktor für das Hochpaßsignal entsprechend einer nicht linearen Übertragungskennlinie K_2 in der Weise vorgegeben wird, daß kleine, geringen Bildkontrasten entsprechende Signale höher verstärkt werden (Steigung S_1) als große, starken Bildkontrasten entsprechende Signale (Steigung S_2) und daß die Tiefpaßsignale vor der Addition von Hochpaß- und Tiefpaßsignalen, bezogen auf den Aussteuerbereich, entsprechend einer nicht linearen Gradationskennlinie K_1 modifiziert werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sehr kleine, dem mittleren Rauschsignal entsprechende Bildsignale mittels einer in der Nähe des Nullpunktes flach oder horizontal verlaufenden Kennlinie K_2 im Hochpaßkanal unterdrückt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Hochpaßsignale entsprechend einer nicht nullpunktsymmetrischen Kennlinie modifiziert werden, wobei die Rauschunterdrückungsschwelle T_1 und die Anfangssteigung S_1 im 1. Quadranten kleiner sind als die Rauschunterdrückungsschwelle T_2 und die Anfangssteigung S_3 im 3. Quadranten der Verstärkungskennlinie K_2 .
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß in Abhängigkeit des gradationsbewerteten Tiefpaßsignals auf verschiedene Verstärkungskennlinien K_2 umgeschaltet wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Tiefpaßfilterfunktion in Abhängigkeit der Signalamplitude am Filtereingang derart variiert wird, daß das Tiefpaßfilter bei kleinen Signalen eine geringe Bandbreite und bei großen Signalen eine große Bandbreite aufweist.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß für die Tiefpaßfilterung anstelle einer Filtermatrix mit einer sehr großen Zahl von Elementen eine Filtermatrix mit einer kleinen Zahl von Elementen verwendet wird, und das Summenausgangssignal nach der Zusammenführung von Hochpaß- und Tiefpaßsignal die gesamte Filteranordnung unter Zwischenspeicherung mehrfach durchläuft.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß zur Optimierung der Filtereigenschaften die Matrixkoeffizienten des Tiefpaßfilters nach jedem Filterdurchlauf neu eingestellt werden.
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich die Kennlinien K_1 für die Verstärkung des Tiefpaßsignals und K_2 für die Verstärkung des Hochpaßsignals nach jedem Durchlauf neu eingestellt werden.

9. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Tiefpaß (18) zur Aufteilung der Bildsignale in hoch- und niederfrequente Anteile vorgesehen ist, an dessen Ausgang ein erster Eingang eines Summierverstärkers anliegt, daß an dessen zweitem Eingang zur Gewinnung eines Hochpaßsignals das originale Bildsignal liegt, in dem Hoch- und Tiefpaßkanal je ein nichtlineares Übertragungsglied (22, 23) liegt, die in einem Summierverstärker zusammengeführt sind und daß das Übertragungsglied (22) im Hochpaßsignal eine Kennlinie K_2 aufweist, die im Bereich geringer Werte zur Rauschunterdrückung nahe Null verläuft.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß als Übertragungsglied eine Look-up-Table (LUT) vorgesehen ist.

Beschreibung

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur elektronischen Kontrastbewertung von zweidimensionalen transparenten Bildvorlagen, bei dem die Bildvorlage nach Zeilen und Spalten elektrooptisch abgetastet wird und die den Bildelementen entsprechenden, gegebenenfalls zu korrigierenden Bildsignale einer Frequenzfilterung unterzogen werden, bei der sie durch einen Tiefpaß modifiziert werden und zu diesen Tiefpaßsignalen die entsprechenden aus Tiefpaßsignalen und originalen Bildsignalen durch Subtraktion gewonnenen Hochpaßsignale addiert werden.

Ein Verfahren dieser Art ist prinzipiell aus der Videotechnik bekannt. Dabei geht es in erster Linie darum, mit elektronischen Mitteln eine Bildverbesserung zu erreichen. Insbesondere sind Methoden beschrieben worden, um hochfrequente Rauschsignale zu eliminieren, wohingegen hochfrequente, hohen Ortsfrequenzen entsprechende Bildsignale durch Verstärkung angehoben werden. Damit kann man einerseits eine Bildglättung und andererseits eine Bildverschärfung erreichen. Die Grundlagen dieser Methoden sind ausführlich beschrieben in den Büchern F. M. Wahl, *Digitale Bildverarbeitung*, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo 1984 und W. K. Pratt, *Digital Image Processing*, John Wiley & Sons, New York/Chichester/Brisbane/Toronto, 1978.

Bei der Reproduktion farbiger Originalbilder (positiv) oder bei der Herstellung farbfotografischer Positivbilder von Color-Negativvorlagen wird in zunehmendem Maße auf die elektronische Bildverarbeitung zurückgegriffen (siehe z. B. EP 1 23 701 und EP 1 68 818). Grundlage ist dabei, daß die Bildvorlage nach Zeilen und Spalten elektrooptisch abgetastet (gescannt) wird und die resultierenden Bildsignale nach bestimmten Kriterien modifiziert werden. Die Abtastung der Bildvorlage erfolgt normalerweise seriell für die drei Primärfarben rot, grün, blau (RGB). Erfahrungsgemäß müssen zur Erzeugung optimaler Positivbilder folgende Bildparameter eingestellt bzw. verändert werden können:

- a) Farbbalance,
- b) Farbsättigung,
- c) globaler Kontrast (Gradation).

Dabei besteht häufig die Schwierigkeit, daß sich diese Parameter nicht unabhängig voneinander einstellen lassen. Bei einer veränderten Einstellung der Gradation

verschiebt sich z. B. auch der Farbbort. Eine unabhängige Einstellung gelingt jedoch, wenn die Helligkeitslinearen Bildsignale, wie in der Fernsehtechnik üblich, in Luminanz- und Chrominanzsignale transformiert werden ($RGB \rightarrow YUV$ -Transformation).

Neben der Einstellung der Gradation sind, wie oben schon beschrieben, elektronische Methoden zur Bildverbesserung bekannt, wobei normalerweise hohen Ortsfrequenzen entsprechende Bildsignale angehoben werden, um die entsprechend der Modulationsübertragungsfunktion (MÜF) bei hohen Ortsfrequenzen einsetzenden Übertragungsverluste zu kompensieren. Auf diese Weise kann man im Prinzip die Wiedergabe von Mikrostrukturen im Bild verbessern. Es hat sich nun gezeigt, daß man bei der Herstellung farbfotografischer Abzüge von Colornegativen oder auch Colorpositiven insbesondere, zum Teil dem physiologischen Bereich zugeordneten Kriterien Rechnung tragen muß, wenn die Bilder vom Betrachter als optimal eingestuft werden sollen. Insbesondere hat sich gezeigt, daß hochfrequente Detailstrukturen (Mikro-Strukturen) bei der Bildverarbeitung anders bewertet werden müssen als tieffrequente Strukturen (Makro-Strukturen).

Hier setzt die Erfindung an. Es lag die Aufgabe zugrunde, die Bildkontraste bei den Mikrostrukturen anzuheben (Bildschärfverbesserung) und dabei eine Überbetonung der Kontraste zu vermeiden, die in der Praxis häufig zu einem "strohigen" Bildeindruck führt.

Diese Aufgabe wird, ausgehend von dem eingangs beschriebenen Verfahren, erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß in der Filterschaltung der Verstärkungsfaktor K_2 für das Hochpaßsignal entsprechend einer nicht linearen Übertragungskennlinie in der Weise vorgegeben wird, daß kleine, geringen Bildkontrasten entsprechende Signale höher verstärkt werden als große, starken Bildkontrasten entsprechende Signale und daß die Tiefpaßsignale vor der Addition von Hochpaß- und Tiefpaßsignalen, bezogen auf den Aussteuerbereich, entsprechend einer nicht linearen Gradationskennlinie modifiziert werden. Die signalabhängige Verstärkung im Hochpaßkanal bewirkt, daß kleine Detail-Kontraste im Bild relativ stark angehoben werden, während die a priori großen Kontraste schwächer verstärkt werden. Dadurch kann eine Übersteuerung ebenso wie eine Überbetonung der Kontraste vermieden werden.

Vorzugsweise werden sehr kleine, dem mittleren Rauschsignal entsprechende Bildsignale mittels einer in der Nähe des Null-Punktes flach oder horizontal verlaufenden Kennlinie K_2 im Hochpaßkanal unterdrückt. Auf diese Weise kann das systemeigene elektronische Rauschen ebenso wie das optische, durch die Körnigkeit der Vorlage bedingte Rauschen eliminiert werden.

Um der Tatsache Rechnung zu tragen, daß vom Auge Hell-Dunkel-Sprünge anders wahrgenommen werden als Dunkel-Hell-Sprünge, wird man zweckmäßig bei der Verstärkung der Hochpaßbildsignale eine asymmetrische Verstärkungskennlinie zugrundelegen, wobei die Rauschunterdrückungsschwelle T_1 und die Anfangssteigung S_1 der Verstärkungskennlinie im ersten Quadranten kleiner sind als die Rauschunterdrückungsschwelle T_2 und die Anfangssteigung S_3 im dritten Quadranten der Verstärkungskennlinie K_2 .

Eine zusätzliche vorteilhafte Variante besteht darin, daß in Abhängigkeit des gradationsbewerteten Tiefpaßsignals auf verschiedene Verstärkungskennlinien K_2 umgeschaltet wird.

Diese Variante erfordert zwar einen größeren schaltungstechnischen Aufwand, läßt aber einen größeren

Spielraum bei der optimalen Anpassung der Bildverarbeitungsalgorithmen an die physiologischen Eigenschaften des Auges zu. So kann z. B. berücksichtigt werden, daß die Kontrastempfindlichkeit des Auges bei mittleren Helligkeiten am größten ist, während sie bei starken und geringen Helligkeiten relativ klein ist. Infolgedessen wird man bei ganz kleinen und ganz großen mittleren Helligkeiten auf eine Verstärkungskennlinie K_2 mit höherer Steigung umschalten.

Eine weitere subjektiv empfundene Verbesserung der Bildqualität kann man erreichen, wenn die Tiefpaßfilterfunktion in Abhängigkeit der Signalamplitude am Filtereingang derart variiert wird, daß das Tiefpaßfilter bei kleinen Bildsignalen eine geringe Bandbreite und bei großen Bildsignalen eine große Bandbreite aufweist.

Weitere bevorzugte Maßnahmen betreffen die rationelle Realisierung der gewünschten Filtercharakteristik mittels iterativer Methoden und sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Weitere Ansprüche richten sich auf eine Vorrichtung zur Durchführung der beanspruchten Verfahren.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von in Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen

Fig. 1 die drei Hauptblöcke der Bildverarbeitung mit der Bildabtastvorrichtung (Scanner), dem eigentlichen Bildverarbeitungsteil und der Bildausgabevorrichtung (Printer),

Fig. 2 ein schematisiertes Blockschaltbild des Bildprozessors im Bildverarbeitungsteil,

Fig. 3 ein Prinzip-Schaltbild für die Realisierung eines elektronischen Filters (Stand der Technik),

Fig. 4 das Prinzip-Schaltbild für den bei dem erfindungsgemäßen Verfahren angewandten Filterprozeß,

Fig. 5a, 5d Diagramme zur Erläuterung der Filterfunktion,

Fig. 6 die nicht lineare Verstärkungskennlinie K_2 für den Hochpaßkanal,

Fig. 7 ein Prinzip-Schaltbild für ein Filter mit verbesserten Anpassungsmöglichkeiten,

Fig. 8 die bei dem Filter nach Fig. 7 im Hochpaßkanal zugrundeliegenden Verstärkungskennlinien K_2 ,

Fig. 9 das Prinzip der iterativen Filterung unter Verwendung von Bildspeichern,

Fig. 10 ein Prinzip-Schaltbild für ein Filterprozeß nach dem erfindungsgemäßen Verfahren mit zusätzlicher Modifizierung des Filterausgangssignals.

Gemäß Fig. 1 wird die Bildvorlage mit dem Scanner 1, einem CCD-Zeilensensor (Zeilen horizontal) vertikal zeilenförmig abgetastet, so daß für jeden Bildpunkt ein elektrisches Bildsignal gewonnen wird. Die Abtastung erfolgt nacheinander für die drei Primärfarben rot, grün, blau (RGB). Zu diesem Zweck werden geeignete Farbfilter in den Lichtweg zwischen CCD-Zeilensensor und Bildvorlage eingeschwenkt. Das elektrooptisch abgetastete Bild besteht hier aus 2048 Bildpunkten pro Zeile (horizontal) und 1024 Zeilen (vertikal), so daß einem Bild insgesamt 2048×1024 Bildelemente (Pixel) in jeder der drei Primärfarben RGB zugeordnet sind. Eine Korrekturschaltung (nicht gezeigt) sorgt dafür, daß CCD-spezifische Fehler, z. B. unterschiedliche Empfindlichkeiten der CCD-Elemente und Dunkelströme, eliminiert werden. Die korrigierten Bildsignale werden anschließend digitalisiert. Erst danach erfolgt die eigentliche elektronische Bildverarbeitung, die in Fig. 1 zu dem Block 2 (gestrichelt) zusammengefaßt ist. Das letzte Glied in der Bildverarbeitungskette ist die Bildausgabevorrichtung 3, hier ein Kathodenstrahl-Printer, der die elektrischen

Bildsignale wieder in ein optisches Bild umwandelt, das dann auf das fotografische Aufzeichnungsmaterial, z. B. Color-Positiv-Papier, aufbelichtet wird. Wesentlich ist dabei, daß im Printer das optische Bild Punkt für Punkt durch Umwandlung der elektrischen Bildsignale aufgebaut wird. Im Prinzip kann also jedes Pixel der Bildverarbeitung unterzogen und anschließend an der der Originalvorlage entsprechenden Koordinate auf dem Aufzeichnungsträger ausgegeben werden. Die eigentliche elektronische Bildverarbeitung erfolgt in dem Bildprozessor 4, der über eine Eingabe 5 extern gesteuert werden kann. Vor und nach dem Bildprozessor 4 wird das Bild in den Speichern 6 und 7 (SP_1 und SP_2) abgelegt. Durch diese Zwischenspeicher erreicht man, daß ein Bild vom Printer 3 aus dem Speicher 7 abgerufen und aufgezeichnet werden kann, während gleichzeitig schon ein neues Bild in den Speicher 6 eingelesen und vom Bildprozessor 4 verarbeitet wird. Die drei Grundvorgänge Abtastung (Scanner 1), Bildverarbeitung im Bildprozessor 4 und Bildaufzeichnung (Printer 3) können somit entkoppelt werden. Das vom Bildprozessor 4 verarbeitete, für die Aufzeichnung bestimmte Bild kann nach Zwischenspeicherung in dem Monitorspeicher 8 mittels eines Monitors 9 betrachtet werden. Diese Blöcke werden hier ebenfalls der Bildverarbeitung 2 zugeordnet.

Bei der vorliegenden Erfindung geht es in erster Linie um spezielle elektronische Maßnahmen zur Bildanpassung und Bildverbesserung, wobei letzten Endes die Beurteilungskriterien der visuellen Betrachtung maßgebend sind. Im einzelnen übernimmt der Bildprozessor 4 folgende Aufgaben und Funktionen:

- a) Einstellung der Farbbalance,
- b) Einstellung der Farbsättigung in mehreren Stufen,
- c) bildbezogene Einstellung der Gradation,
- d) Bildschärfverbesserung im Bereich feiner Bild-details (hoher Ortsfrequenzen).

Die Bildprozessorfunktionen sollen nun im einzelnen anhand von Fig. 2 erläutert werden. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Bildschärfverbesserung im Bereich hoher Ortsfrequenzen (Punkt d). Gemäß Fig. 2 umfaßt der Bildprozessor die Blöcke 10 bis 17. Die im Bildspeicher 6 (Speicher SP_1) abgelegten Bildsignale werden zunächst einer Farbmatrix 10 zugeführt, mit deren Hilfe Nebentransparenzen der Farbstoffe der Vorlagen (Übersprechen) korrigiert werden können. Bei der Farbmatrix handelt es sich um einen Festwertspeicher (Look-up-Table = LUT), bei dem jedem ursprünglichen Bildsignal $A(x, y)$ ein korrigiertes Bildsignal $A'(x, y)$ zugeordnet ist. Die erwähnten Farbkorrekturen können erst an dieser Stelle vorgenommen werden, weil erst nach dem Speicher 6 die Bildsignale aller drei Farbauszüge RGB simultan anstehen. Anschließend werden die dichte-Linear gespeicherten Bildsignale ebenfalls mit Hilfe einer Look-up-Tabelle 11 delogarithmiert, so daß von diesem Punkt aber wieder transparenzlineare Bildsignale zur Verfügung stehen. Mit dem Farbbalanceregler 12 können nicht systembedingte Farbabweichungen (z. B. Farbstich) kompensiert werden oder eine bewußte Abweichung vom standardmäßigen Graupunkt erzeugt werden. Im darauffolgenden Block 13 werden die RGB-Bildsignale in ein farbanunabhängiges Helligkeitssignal Y (Luminanzsignal) und zwei helligkeitsunabhängige Farbdifferenzsignale U, V (Chrominanzsignale) transformiert. Die Transformation erfolgt dabei in bekannter

Weise nach folgenden Gleichungen:

$$Y = 0,3r + 0,6g + 0,1b$$

$$U = b - Y$$

$$V = r - Y$$

Diese Transformation setzt transparenzlineare Signale voraus. Mittels der Schaltung 14, der nur die Chrominanzsignale U, V zugeführt werden, kann die Farbsättigung eingestellt (vorgewählt) bzw. in Abhängigkeit des Luminanzsignals y automatisch nachgestellt werden. Das Luminanzsignal y durchläuft im unteren Kanal die im Rahmen der vorliegenden Erfindung herausgestellte Kontrastbewertungsschaltung, die weiter unten noch ausführlich beschrieben wird. Die modifizierten Chrominanz- und Luminanzsignale werden im Block 16 entsprechend den Umkehrfunktionen der oben erwähnten Gleichungen in die entsprechenden RGB-Signale rücktransformiert. Diese RGB-Signale werden dann in der Logarithmierschaltung 17 logarithmiert, so daß in der darauffolgenden Signalverarbeitung wieder dichte-Linear Bildsignale anstehen.

Die Kontrastbewertungsschaltung 15 ist im Prinzip ein zweidimensionales digitales Filter, um bestimmte Ortsfrequenzbereiche im Bild anzuheben bzw. zu unterdrücken. Sie beruht auf dem bekannten Filterprinzip nach Fig. 3, wonach die Bildsignale $f(x, y)$ einen Tiefpaß 18 durchlaufen, aus diesen Tiefpaßsignalen $m(x, y)$ durch Subtraktion von den originalen Bildsignalen $f(x, y)$ in einem Differenzverstärker 19 Hochpaßsignale $f - m$ gebildet werden, die anschließend verstärkt (20) und schließlich in der Summenschaltung 21 wieder zu den Tiefpaßsignalen $m(x, y)$ dazugaddiert werden. Das resultierende Ausgangssignal ist hier mit $g(x, y)$ bezeichnet. Der zugehörige mathematische Filteransatz lautet:

$$g(x, y) = m(x, y) + K \cdot [f(x \cdot y) - m(x \cdot y)]$$

Bei digitalen Signalen ist der Tiefpaß 18 ein Matrixfilter. Dieses Matrixfilter wird dadurch realisiert, daß zu jedem Pixel ein Mittelwert der zur nächsten Umgebung gehörenden Bildsignale gebildet wird. Dies entspricht einem Fenster im Ortsraum, innerhalb dessen die Bildvorlage durch Mittelung einen Abtastwert liefert. Die Mitteilung erfolgt hier z. B. über $3 \times 3, 5 \times 5$ oder 7×7 Bildelemente. Jedem Bildelement wird dabei ein Mittelwert zugeordnet; d. h. das Fenster wird elektronisch durch den Ortsraum geschoben.

Über den Verstärkungsfaktor K des Linearverstärkers 20 kann die Verstärkung der feinen Bildstrukturen entsprechenden Frequenzanteile stufenlos eingestellt werden. Daraus resultiert insgesamt eine Kontrastanhebung der feinen (hochfrequenten) Bildstrukturen. Bei einer starken Kontrastanhebung der hochfrequenten Bildstrukturen ergibt sich jedoch ein "strohiger" Bildeindruck, weil Strukturen mit relativ großem Kontrast eine Überbetonung erfahren.

Ferner besteht der Nachteil, daß stochastische Störsignale, d. h. optisches, von der Körnigkeit der Bildvorlage herrührendes oder systembedingtes elektronisches Rauschen, nach den gleichen Grundsätzen behandelt werden wie die Bildsignale.

Üblicherweise werden bei der elektronischen Bildverarbeitung sämtliche zu einem Bild gehörenden Bildsignale mit einer Gradationskennlinie bewertet, um die Kontraste optimal auf die Gradation des verwendeten fotografischen Aufzeichnungsmaterials abzustimmen. Diese Kennlinie hat im allgemeinen eine S-förmige Ge-

stalt.

Die zugehörige Schaltung wird normalerweise (siehe Fig. 2) vor und hinter der Filterschaltung nach Fig. 3 untergebracht. Daraus resultiert, daß die hochfrequenten Detailstrukturen (Mikrostrukturen) hinsichtlich der Gradation genauso behandelt werden wie die tieffrequenten Grobstrukturen, die im wesentlichen für die Beurteilung des Gesamtkontrastes (globaler Kontrast) von Bedeutung sind. Dies wirkt sich besonders stark in flachen Bereichen der Gradationskennlinie aus, wenn die Kontrastbewertung im Anschluß an die Filterung erfolgt. Es ist ersichtlich, daß dann die hochfrequenten Mikrostrukturen, deren Kontraste mit dem Filter verstärkt wurden, wieder gedämpft werden und dadurch der Filtereffekt zum Teil wieder verlorengeht. Daraus resultiert die Forderung, daß getrennte Signalverarbeitungswege für Bildsignale vorgesehen werden müssen, die einerseits die Mikrokontraste und andererseits das globale Kontrastverhalten bestimmen.

Ausgehend von diesen Überlegungen wurde auf der Basis des Filterprinzips nach Fig. 3 die verbesserte Filterstruktur gemäß Fig. 4 entwickelt. Diese Filterstruktur eignet sich insbesondere für digitalisierte ein- und zweidimensionale Bildsignale (entsprechend den x, y -Koordinaten der Bildvorlage). Das gleiche Filterprinzip läßt sich aber ebenso für analoge Signale verwenden. Der wesentliche Unterschied gegenüber der Filterung nach Fig. 3 besteht darin, daß das Hochpaßsignal $f-m$ mit einer nicht linearen, im folgenden noch näher beschriebenen Kennlinie bewertet wird und unabhängig davon das Tiefpaßsignal $m(x, y)$ einer Kontrastbewertung unterzogen wird. Zu diesem Zweck ist im Hochpaßkanal ein nicht lineares Übertragungsglied 22 und im Tiefpaßkanal eine Kontrastbewertungsschaltung 23 mit z. B. S-förmiger Kennlinie vorgesehen. Dementsprechend lautet die Filtergleichung:

$$g(x, y) = K_1 \cdot m(x, y) + K_2 \cdot [f(x, y) - m(x, y)]$$

Dabei bedeuten:

$g(x, y)$	— das Filterausgangssignal,
$f(x, y)$	— das Filtereingangssignal,
$m(x, y)$	— das Tiefpaßsignal,
$f(x, y) - m(x, y)$	— das Hochpaßsignal,
K_1	— die Kennlinie für die Bewertung des Tiefpaßsignals und
K_2	— die Kennlinie für die Bewertung des Hochpaßsignals.

Aus den Fig. 5a bis 5d ist das prinzipielle Frequenzverhalten der einzelnen Signalanteile ersichtlich. In den Diagrammen ist jeweils die Signalamplitude als Funktion der Ortsfrequenzen f_x und f_y aufgetragen. Der Einfachheit halber wird hier vorausgesetzt, daß im Eingangssignal sowohl in x -Richtung als auch in y -Richtung alle Frequenzen mit gleicher Amplitude vorhanden sind (Fig. 5a). Der Tiefpaß bewirkt dann, daß die Amplitude der Bildsignale zu hohen Frequenzen hin abfällt (Fig. 5b), während sich das Hochpaßsignal $f-m$ gemäß Fig. 5c durch eine Differenzbildung der Kurven nach Fig. 5a und 5b ergibt. In Fig. 5d ist das resultierende Filterausgangssignal $g(x, y)$ aufgetragen, das sich durch Summation des Tiefpaßsignals und des durch Verstärkung angehobenen Hochpaßsignals (Verstärkungsfaktoren 2 bzw. 3) ergibt.

Wie oben schon erwähnt, kommt der nicht linearen Übertragungskennlinie K_2 der Schaltung 22 im Hoch-

paßkanal gemäß Fig. 4 eine besondere Bedeutung zu. Die Charakteristika dieser Kennlinie werden anhand von Fig. 6 erläutert. Da das Hochpaßsignal als hochfrequente Modulation des Tiefpaßsignals anzusehen ist und das Tiefpaßsignal einer mittleren Bildhelligkeit entspricht, liegt der Nullpunkt der Kennlinie K_2 bei einer dem jeweiligen Tiefpaßsignal zugeordneten mittleren Bildhelligkeit. Grob vereinfacht entsprechen also die negativen Signalamplituden in dieser Darstellung dunklen und die positiven Signalamplituden hellen Partien des Bildes. Das Übertragungsverhalten dieser nicht linearen Kennlinie ist im wesentlichen dadurch bestimmt, daß kleine, geringen Modulationen und damit Bildkontrasten entsprechende Signale höher verstärkt werden als große, bereits relativ starken Kontrasten entsprechende Modulationssignale. Dieses Kriterium soll gleichermaßen für dunkle als auch für helle Bildbereiche gelten. In Fig. 6 bedeutet dies, daß:

Steigung $S_1 >$ Steigung S_2
und
Steigung $S_3 >$ Steigung S_4 .

Ferner beginnt die Kennlinie K_2 nicht am Nullpunkt, sondern erst bei einem Schwellwert T_1 bzw. T_2 . Auf diese Weise können die oben erwähnten hochfrequenten Rauschsignale, die entweder optischer oder elektrischer Natur sind, unterdrückt werden. Die Schwelle T_1 liegt hier bei ca. 3% der Vollaussteuerung. Der Wert 255 für die Vollaussteuerung entspricht hier dem größten mit 8 Bit darstellbaren Wert.

Um der Tatsache Rechnung zu tragen, das vom menschlichen Auge ein Hell-Dunkel-Kontrast anders empfunden wird, als der entsprechende Dunkel-Hell-Kontrast mit gleicher Modulationstiefe, wird im negativen Bereich der Kennlinie K_2 (dritter Quadrant) eine andere Kennliniencharakteristik zugrundegelegt als im ersten Quadrant.

Die für die Kontrastbewertung der Mikrostrukturen maßgebliche Verstärkung der Hochpaßsignale ist also, bezogen auf den Helligkeitsmittelwert (Nullpunkt) für positive und negative Signalamplituden unsymmetrisch. Die Unsymmetrie liegt darin, daß einmal der Schwellwert T_2 für die Rauschunterdrückung für negative Amplituden größer ist als der Schwellwert T_1 für positive Amplituden und zum anderen in der unterschiedlichen Anfangssteigung der Kennlinie. So ist die Steigung S_3 des zweiten Kennlinienabschnittes im dritten Quadranten größer als die Steigung S_1 des entsprechenden Kennlinienabschnittes im ersten Quadranten. Dagegen stimmen die Steigungen der Kennlinienabschnitte für relativ große Signalamplituden näherungsweise überein.

Wie in Fig. 6 angedeutet, können die Kennlinienabschnitte in den beiden Quadranten aus je drei Ästen zusammengesetzt sein. Der erste Abschnitt ist dabei ein kurzer vertikaler Anstieg an der Schwelle T_1 bzw. T_2 . Darauf folgen dann die Abschnitte mit der Steigung S_1 und S_2 bzw. S_3 und S_4 . Die Kennliniencharakteristik für positive und negative Hochpaßsignalamplituden ist nachfolgend noch einmal tabellarisch dargestellt:

$$\begin{aligned} S_1 &> S_2; S_3 > S_4 \\ S_3 &> S_4; S_1 \approx S_2 \\ |T_1| &< |T_2| \\ T_1 &= 5 \text{ bis } 10; T_2 = 10 \text{ bis } 20 (\text{Abszisse!}) \end{aligned}$$

W_1 bei 5 bis 10 gemessen an der Ordinate

W_2 bei 50 bis 100 gemessen an der Ordinate
 W_3 bei 10 bis 20 gemessen an der Ordinate
 W_4 bei 50 bis 100 gemessen an der Ordinate

Anstelle einer Kennlinie mit diskreten Steigungsabschnitten kann auch eine stetige, gekrümmte Kennlinie zugrundegelegt werden, wobei die Steigung, angefangen von kleinen Signalamplituden kontinuierlich abnimmt. Schaltungstechnisch realisiert wird die Kennlinie K_2 wieder mit einer (zweidimensionalen) Look-up-Tabelle (LUT). Dies hat den Vorteil, daß beliebige Kennlinienformen einprogrammiert werden können und eine sukzessive empirische Adaptierung an eine optimale Bildqualität vorgenommen werden kann. Aufgrund dieser kontraststeigernden Maßnahmen im Hochpaßkanal und der getrennt davon im Tiefpaßkanal durchgeführten globalen Kontrastbewertung auf der Basis einer S-förmigen Kennlinie K_1 konnte eine erhebliche Verbesserung der Bildqualität bei der Aufzeichnung auf farbfotografischem Material erzielt werden.

Eine verbesserte, allerdings auch mit höherem schaltungstechnischem Aufwand erkaufte Variante der Filteranordnung ist in Fig. 7 skizziert. Diese Schaltung erlaubt eine Umschaltung auf verschiedene Kennlinien K_{2I} bis K_{2III} im Hochpaßkanal in Abhängigkeit des gradationsbewerteten Tiefpaßsignals mit Hilfe eines Multiplexers 24. Diese Schaltung bietet mehr Freiheitsgrade hinsichtlich der optimalen Kontrastbewertung im Hochpaßkanal. So wird in Einklang mit der Kontrastempfindlichkeit des menschlichen Auges in Bildteilen mit einer verhältnismäßig großen mittleren Helligkeit die Kennlinie K_{2I} zugrundegelegt und mittels des Multiplexers 24 auf die Kennlinie K_{2II} bzw. K_{2III} umgeschaltet, wenn das Tiefpaßsignal in Übereinstimmung mit der mittleren Bildhelligkeit von großen zu kleineren Werten hin abnimmt (s. Fig. 8). Da die physiologische Kontrastempfindlichkeit bei mittleren Bildhelligkeiten am größten ist und zu beiden Seiten hin abnimmt, wird sowohl die Steigung der Kennlinie K_{2I} (hell) als auch die der Kennlinie K_{2III} (dunkel) im Bereich geringer Bildkontraste größer gewählt als die der Kennlinie K_{2II} (mittlere Bildhelligkeit). Es leuchtet ein, daß auf diese Weise eine besonders gezielte Kontrastanhebung bei den feinen Bilddetails (Mikrostrukturen) möglich ist.

Darüber hinaus ist in der Schaltung nach Fig. 7 eine Weiterentwicklung im Tiefpaßkanal vorgesehen. Mit Hilfe des im Tiefpaßkanal angeordneten Multiplexers 25 läßt sich hier die Tiefpaßfilterfunktion in Abhängigkeit der Signalamplitude am Filtereingang beeinflussen. In diesem Zusammenhang hat sich empirisch gezeigt, daß man die optische Bildqualität noch weiter verbessern kann, wenn man bei einem relativ kleinen Eingangssignal ein Tiefpaßfilter TP_1 mit einer geringen Bandbreite und mit wachsenden Bildsignalen stufenweise auf Tiefpaßfilter TP_2 bzw. TP_3 mit einer sukzessiv größeren Bandbreite umschaltet.

Bei der Realisierung der Filtermatrix für den Tiefpaß ist oft ein größerer Filtergrad notwendig. Der dadurch bedingte Hardware-Aufwand läßt sich aber begrenzen, wenn anstelle einer Filtermatrix mit einer sehr großen Zahl von Elementen eine Filtermatrix mit einer kleinen Zahl von Elementen verwendet wird und das Summenausgangssignal $g(x,y)$ die gesamte Filteranordnung unter Zwischenspeicherung mehrfach durchläuft. Auf diese Weise kann man z. B. mit einer 3×3 -Filtermatrix und Q -Filterdurchläufen eine $L \times L$ -große Filtermatrix realisieren, wobei

$$Q = \frac{L-1}{2}$$

ist. So kann eine 7×7 -Matrix durch

$$Q = \frac{7-1}{2} = 3 \text{ Filterdurchläufe}$$

bei einem 3×3 -Filter nachgebildet werden. Die Matrixkoeffizienten können entweder konstant sein oder bei jedem Filterdurchlauf so verändert werden, daß die gewünschte Filterfunktion bestmöglich erreicht wird. Das zu bearbeitende Bild muß nach jedem Filterdurchlauf in einem Bildspeicher zwischengespeichert werden (iterative Bildbearbeitung).

Eine Anordnung, mit der eine iterative Bildbearbeitung erfolgen kann, zeigt Fig. 9. Der Weg des Bildes für ein 7×7 -Filter (3 Filterdurchläufe) sieht dabei folgendermaßen aus:

Speicher 26 → Filter 28 → Speicher 27 → Filter 28 → Speicher 26 → Filter 28 → Speicher 27.

Mit dem Rechner 29 können die Filterkoeffizienten nach jedem Durchlauf neu eingeschrieben werden.

Bei der erweiterten Filterschaltung nach Fig. 10 schließt sich an den Summenverstärker 21 ein wiederum als LUT-Speicher ausgebildetes Übertragungsglied 30 an. Mit diesem Übertragungsglied, dem die Kennlinie K_3 zugrundeliegt, können für den gesamten Ortsfrequenzbereich nach der Matrixfilterung folgende Operationen ausgeführt werden:

- Begrenzung des Ausgangssignals des Summenverstärkers 21,
- lineare Verschiebung als Bildsignale,
- Schwarzwert-, Weißwert-Einstellungen,
- Gradationskorrekturen.

Damit ist die ortsfrequenzabhängige Kontrastbewertung im Luminanzkanal (Block 15 in Fig. 2) abgeschlossen. Die an der Kontrastbewertungsschaltung 15 anstehenden Signale werden dann, wie schon auf Seite 11 beschrieben, im Block 16 (Fig. 2) in die RGB-Signale rücktransformiert und im Hinblick auf die elektrooptische Umsetzung im Printer 3 (s. Fig. 1) weiterverarbeitet.

- Leerseite -

3629409

AF-GEVAERT AKTIENGESSEL

Nummer:
Int. Cl. 4:
Anmeldetag:
Offenlegungstag:

36 29 409
H 04 N 1/40
29. August 1986
3. März 1988

1/7

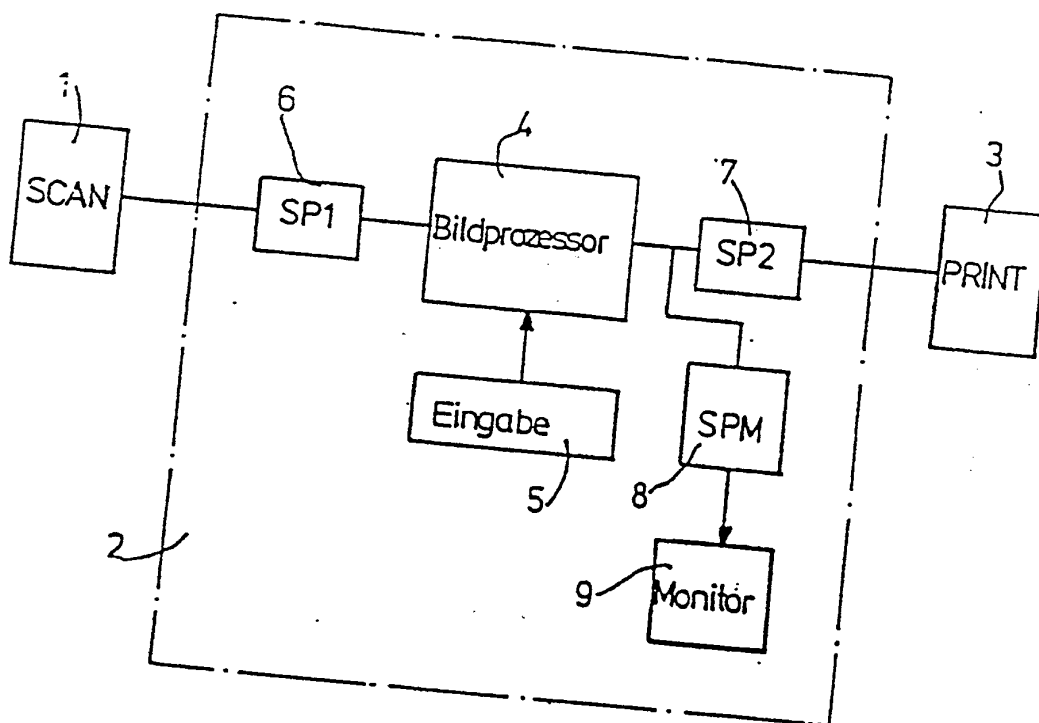


FIG1

ORIGINAL INSPECTED

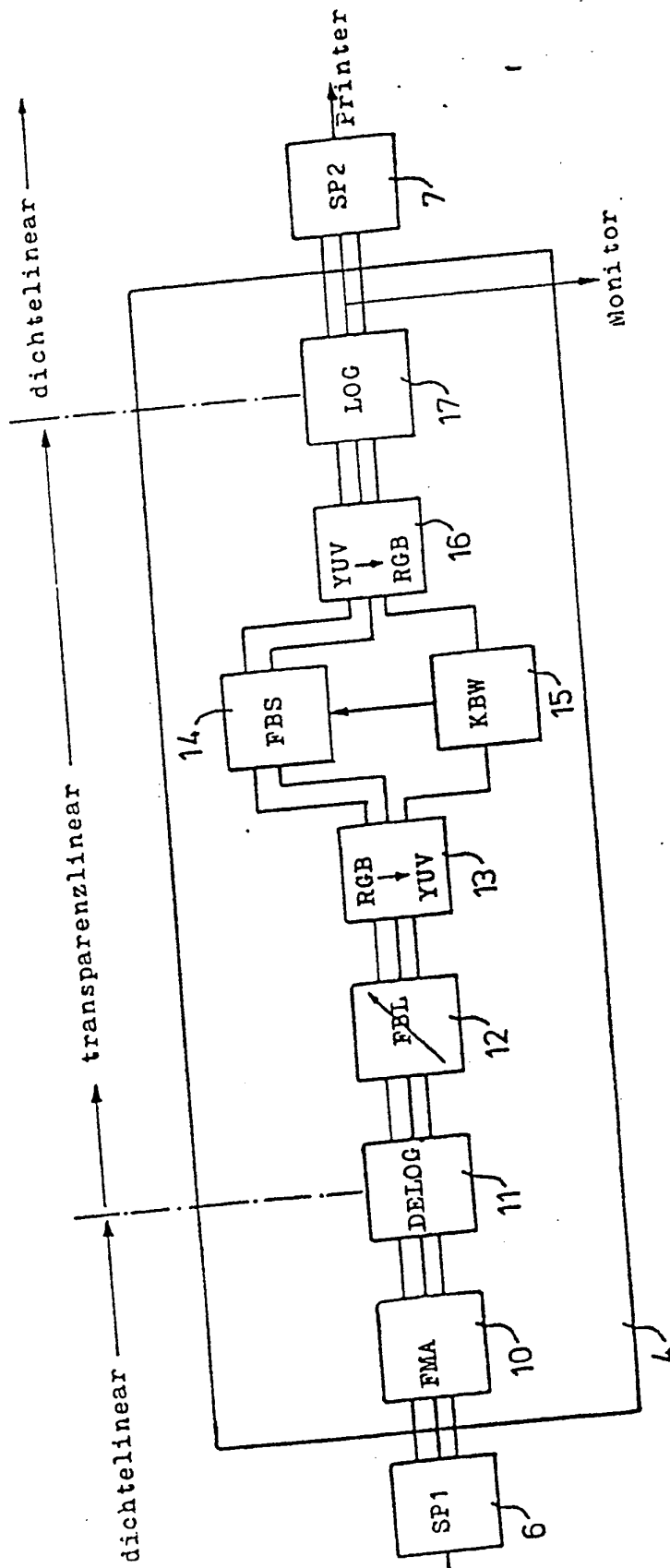


FIG. 2

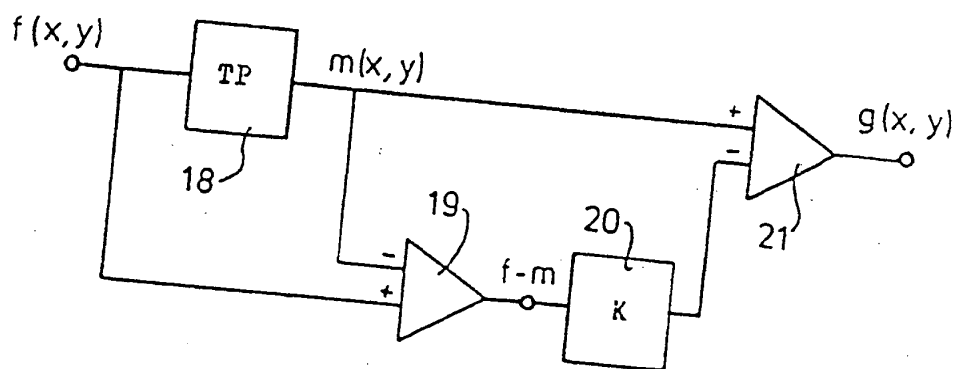


FIG. 3

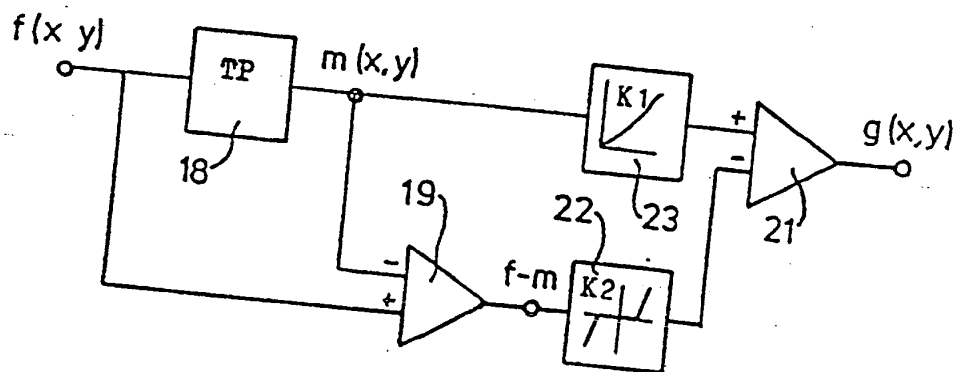


FIG. 4

FIG. 5a

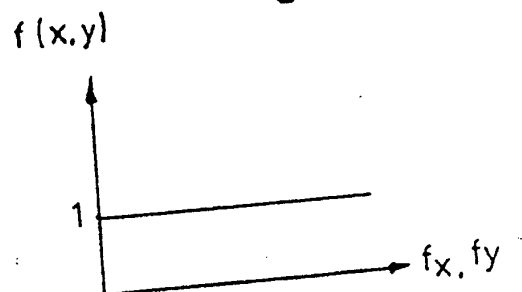


FIG. 5b



FIG. 5c

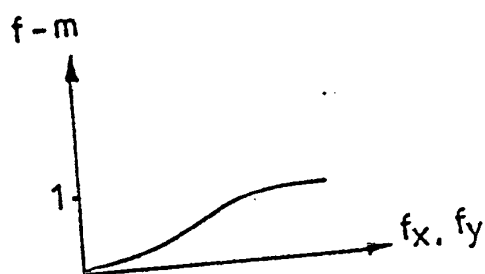
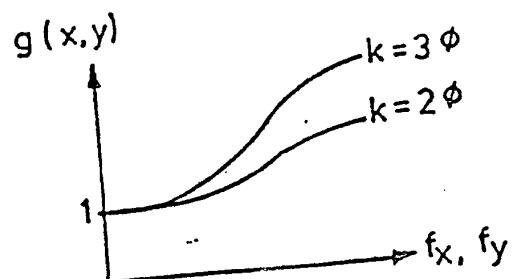


FIG. 5d



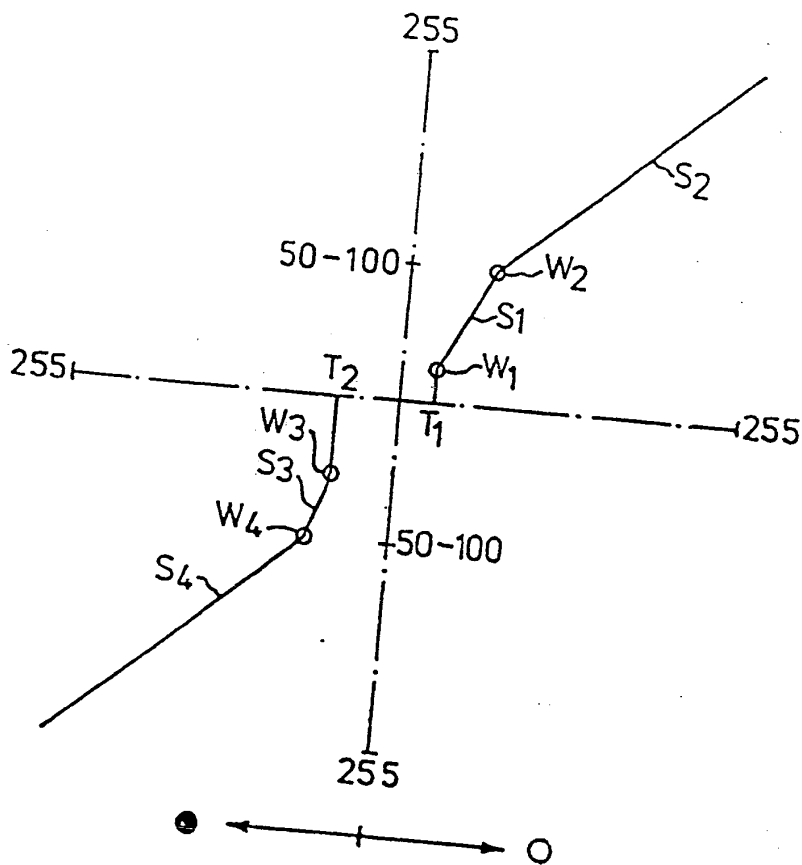


FIG. 6

3629409

6/7

AGFA-GEVAERT AKTIENGESellschaft

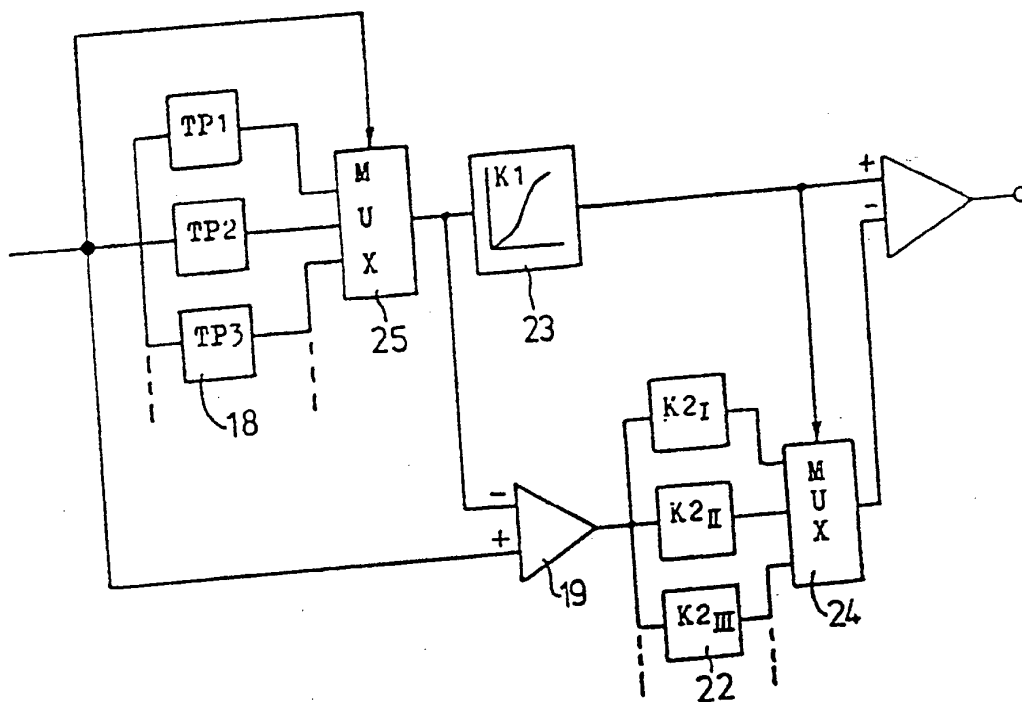


FIG. 7

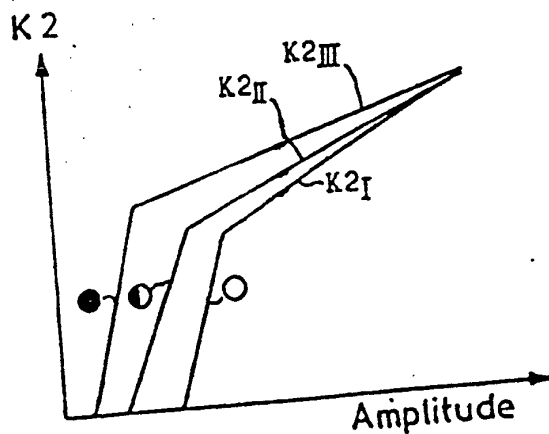


FIG. 8

